

УДК 548.0

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИ ЧЕРЕДУЮЩИХСЯ ДИСЛОКАЦИОННЫХ СТЕНОК ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ У ПОЛОС СДВИГА В АМОРФНЫХ МАТЕРИАЛАХ

М.Н. ВЕРЕЩАГИН, О.М. ОСТРИКОВ

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П.О. Сухого»,
Республика Беларусь*

Введение. Полосы сдвига – основной канал пластической деформации аморфных материалов [1–3]. По своей структуре они отличаются от полос сдвига, наблюдаемых в монокристаллических материалах [3]. Результаты высокоразрешающей просвечивающей электронной микроскопии [3] показывают, что структура полос сдвига в аморфных материалах состоит из набора пор и областей сцепления [1, 2] материала, находящегося по разные стороны плоскости сдвига.

Целью данной работы является развитие модели дислокационных стенок в приложении к полосам сдвига в аморфных материалах и расчет напряженного состояния в их окрестностях.

Постановка задачи. На рис. 1 а представлено схематическое изображение полосы сдвига, построенное на основании результатов исследований полос сдвига с помощью высокоразрешающей просвечивающей электронной микроскопии [3]. Как видно, полоса сдвига состоит из совокупности пор и областей сцепления материала, находящихся по разные стороны плоскости сдвига. Дислокационная модель такой полосы представлена на рис. 1 б.

Напряжения, возникающие в областях сцепления, будем моделировать напряжениями, создаваемыми дислокационными стенками (см. рис. 1 б), состоящими из краевых дислокаций с вектором Бюргерса \vec{b} . Такая модель особенно удобна для описания процессов, протекающих, например, при одноосном растяжении аморфного материала. При этом полагается, что направление растяжения аморфного материала перпендикулярно плоскости, в которой формируется полоса сдвига.

Пренебрегаем краевыми эффектами, связанными с наличием у пор свободных поверхностей. Это возможно ввиду малого расстояния между данными поверхностями. Такое допущение позволит значительно упростить расчет, не оказывая существенного влияния на его точность, особенно при рассмотрении далекодействующих напряжений.

Направим оси правой декартовой системы координат так, как это показано на рис. 1 б. Тогда на основании принципа суперпозиции в общем виде напряжения у полосы сдвига могут быть описаны соотношением:

$$\sigma_{ij} = \sum_{m=0}^M \sum_{n=0}^N \sigma_{ij}(x + nd + m(l + Nd), y), \quad (1)$$

где $M = L_{nc}/(L + l)$ (здесь L_{nc} – длина полосы сдвига) – число пор; $N = L/d$ (здесь d – расстояние между дислокациями в скоплении) – число дислокаций в скоплении; m и n – индексы суммирования.

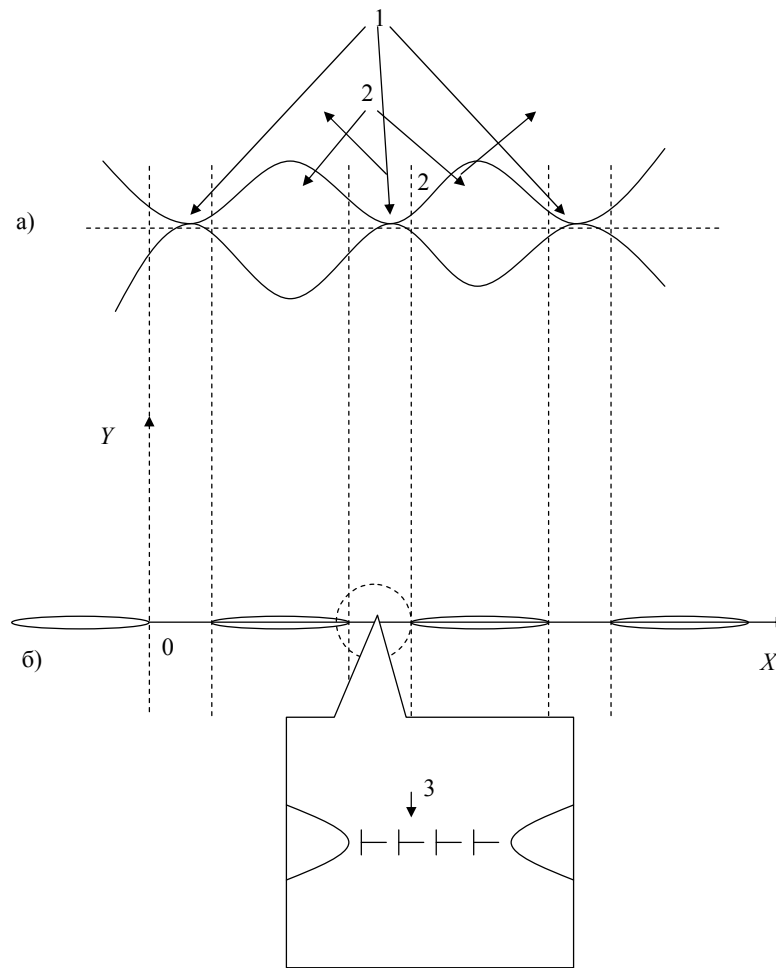


Рис. 1. Модель полосы сдвига в аморфном материале: а – схема структуры полосы; б – дислокационная модель; 1 – области сцепления частей материала, находящихся по разные стороны плоскости сдвига; 2 – поры; 3 – дислокационная стенка

Для рассматриваемой в данной работе задачи соотношение (1) может быть представлено в виде:

$$\begin{aligned}
 \sigma_{xx} &= -\frac{\mu b}{2\pi(1-\nu)} \sum_{m=0}^M \sum_{n=0}^N \frac{(x+nd+m(l+Nd))[3y^2+(x+nd+m(l+Nd))^2]}{[(x+nd+m(l+Nd))^2+y^2]^2}, \\
 \sigma_{yy} &= \frac{\mu b}{2\pi(1-\nu)} \sum_{m=0}^M \sum_{n=0}^N \frac{(x+nd+m(l+Nd))[y^2-(x+nd+m(l+Nd))^2]}{[(x+nd+m(l+Nd))^2+y^2]^2}, \\
 \sigma_{zz} &= -\frac{\mu b \nu}{\pi(1-\nu)} \sum_{m=0}^M \sum_{n=0}^N \frac{x+nd+m(l+Nd)}{(x+nd+m(l+Nd))^2+y^2}, \\
 \sigma_{xy} &= \frac{\mu b}{2\pi(1-\nu)} \sum_{m=0}^M \sum_{n=0}^N \frac{y[y^2-(x+nd+m(l+Nd))^2]}{[(x+nd+m(l+Nd))^2+y^2]^2}, \\
 \sigma_{xz} &= \sigma_{yz} = 0,
 \end{aligned} \tag{2}$$

где μ – модуль сдвига; b – вектор Бюргерса; ν – коэффициент Пуассона.

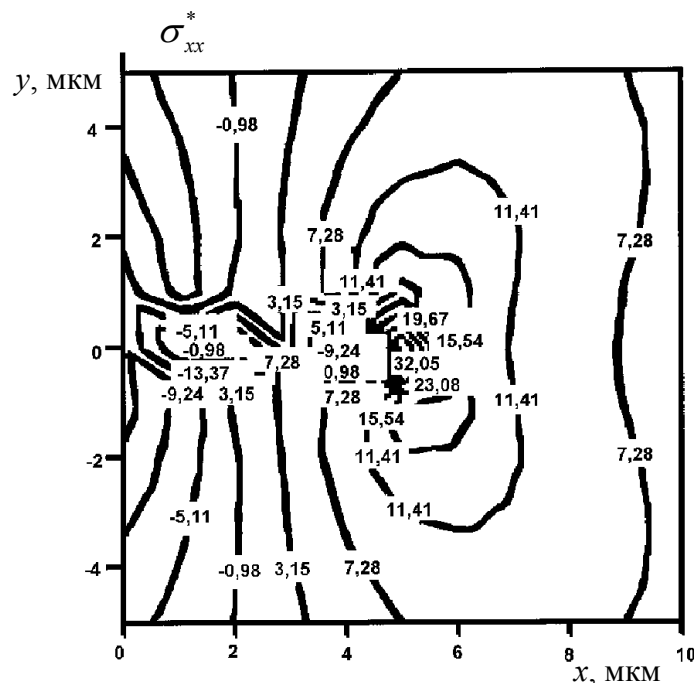
Результаты расчета. Результаты компьютерного расчета полей напряжений у полосы сдвига представлены на рис. 2. Для удобства расчетов строились не зависимости $\sigma_{ij} = f(x, y)$, а аналогичные по виду функции $\sigma_{ij}^* = f(x, y)$, где $\sigma_{xx}^* = -\sigma_{xx}/A$, $\sigma_{yy}^* = \sigma_{yy}/A$, $\sigma_{xy}^* = \sigma_{xy}/A$ (здесь $A = \frac{\mu b}{2\pi(1-\nu)}$ [4]), $\sigma_{zz}^* = -\sigma_{zz}/B$ (здесь $B = \frac{\mu b \nu}{\pi(1-\nu)}$ [4]).

При построении полей напряжений (см. рис. 2) принималось $M = 3$; $N = 10$; $d = 0,1$; $l = 0,5$. Начало координат графиков соответствуют вершине полосы сдвига. Последняя расположена в положительной области оси OX , как это показано на рис. 1 б. Краевыми эффектами, связанными с наличием пор, в данной работе пренебрегалось. Это возможно из-за малых их размеров (толщина пор соизмерима с межатомным расстоянием) по сравнению с площадью рассматриваемой области.

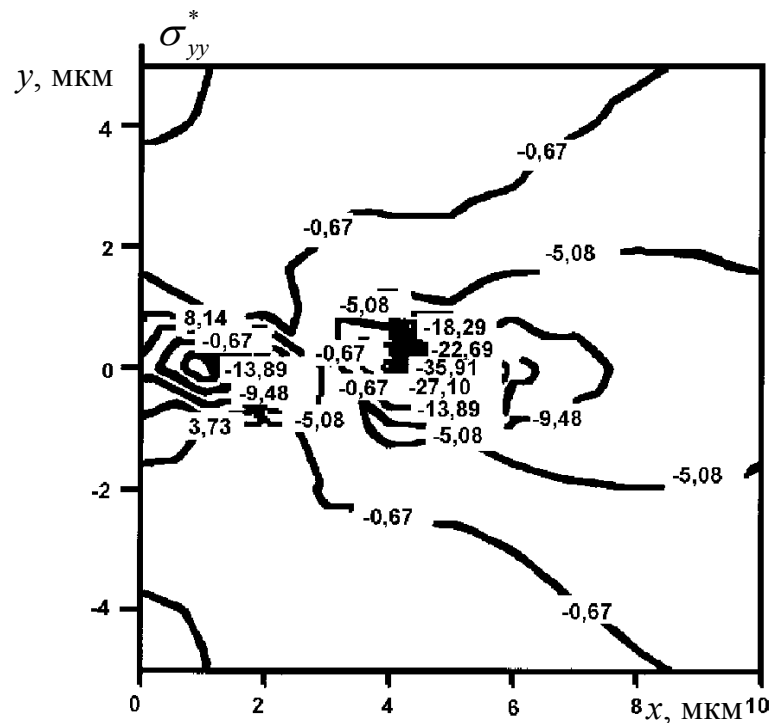
На рис. 2 а представлено распределение напряжений σ_{xx}^* у полосы сдвига, моделируемой с помощью чередующихся дислокационных стенок. Можно видеть, что рассматриваемые напряжения знакопеременны по отношению к вершине и устью полосы сдвига.

Скалывающие напряжения σ_{xy}^* меняют знак по отношению плоскости, в которой находится полоса сдвига (см. рис. 2 г).

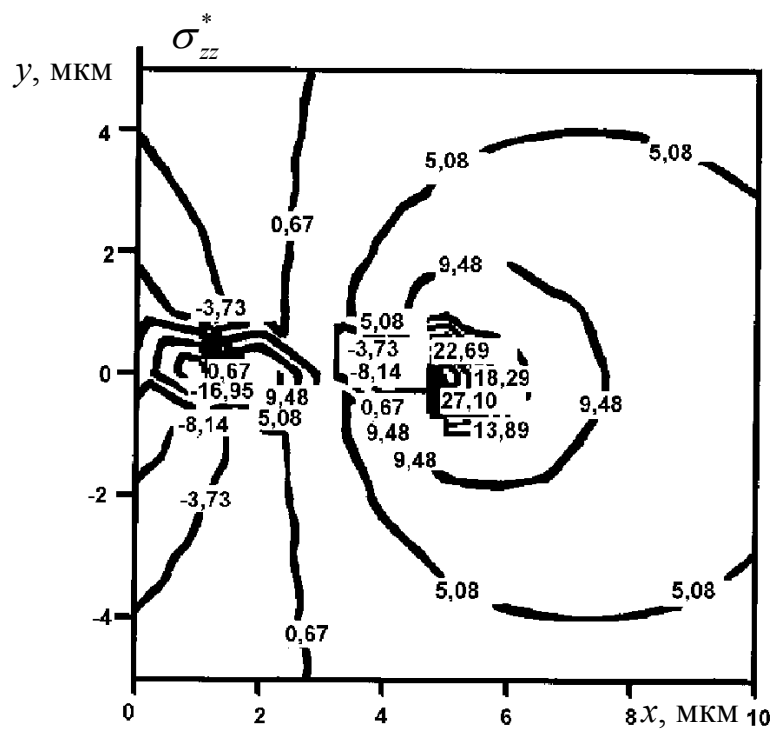
Максимальное значение нормальные напряжения достигают у вершины полосы сдвига (см. рис. 2 а, б и в). Скалывающие напряжения максимальны на некотором расстоянии по нормали к плоскости сдвига (см. рис. 2 г). Это говорит о том, что согласно предлагаемой модели процессы переползания наиболее активны у вершин полос сдвига, а взаимодействие с другими полосами сдвига наиболее интенсивно на определенном расстоянии от данной полосы сдвига.



а)



б)



в)

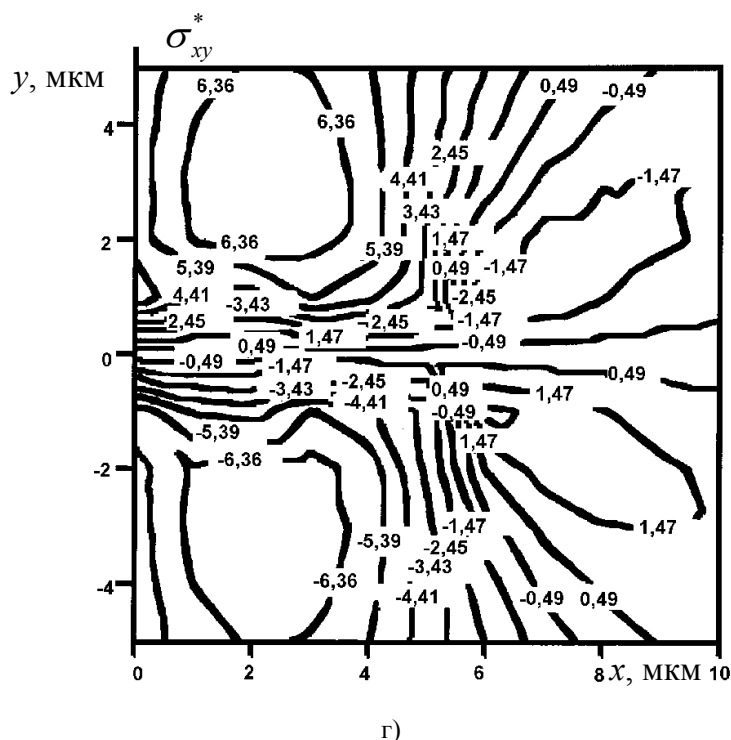


Рис. 2. Результаты компьютерного расчета полей напряжений у полосы сдвига, моделируемой набором дислокационных стенок: а) σ_{xx}^* ; б) σ_{yy}^* ; в) σ_{zz}^* ; г) σ_{xy}^*

Выводы. Предложена новая дислокационная модель полосы сдвига в аморфном материале. На основании данной модели рассчитаны поля напряжений.

Список литературы

1. Верещагин М.Н., Шепелевич В.Г., Остриков О.М., Цыбранкова С.Н. Исследование методом локального деформирования особенностей пластической деформации аморфного сплава Fe–Cr–Mo–V–B–Si //Кристаллография. – 2002. – Т. 47, № 4. – С. 691-696.
2. Верещагин М.Н., Шепелевич В.Г., Остриков О.М., Цыбранкова С.Н. Особенности пластической деформации при индентировании пирамидой Виккерса поверхности аморфного сплава Fe–Cr–Mo–V–B–Si //Физика металлов и металловедение. – 2002. – Т. 93, № 5. – С. 101-104.
3. Глезер А.М., Молотиллов Б.В. Структура и механические свойства аморфных сплавов. – М.: Металлургия, 1992. – 208 с.
4. Хирт Дж., Лоте И. Теория дислокаций. – М.: Атомиздат, 1972. – 600 с.

Получено 26.03.2003 г.